

30-0527/001

**AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN**

beim INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

**ibmb**

**TU BRAUNSCHWEIG**

**Zustand der Spannglieder  
im abgebrochenen Brückenbauwerk  
über das Coldeborger Sieltief  
bei Kilometer 5,863 der Landesstraße 15  
von Bingum nach Oldendorf im Landkreis Leer**

von

**J. Erdmann**

**K. Kordina**

**H. Meier**

**Braunschweig 1989**

**BIBLIOTHEK**

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Beethovenstraße 52  
D-38106 Braunschweig

Die Untersuchungen wurden unter dem Zeichen 6-62/31 503 15 vom Niedersächsischen Landesamt für Straßenbau im Auftrage des Bundesministers für Verkehr finanziert.

## Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Bauwerkbeschreibung und Spannverfahren
3. Probenentnahme
4. Untersuchungsziel und Untersuchungsumfang
5. Laboruntersuchungen
  - 5.1 Zerlegen der Spanngliedabschnitte
  - 5.2 Chloridanalysen
  - 5.3 Mechanisch-technologische Untersuchungen
    - 5.3.1 Klassifizierung des Probenmaterials
    - 5.3.2 Zugversuche
    - 5.3.3 Dauerschwingversuche
6. Zusammenfassung

BIBLIOTHEK  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Bettendorferstraße 52  
D-38103 Braunschweig

## 1. Allgemeines

Mit Schreiben vom 27.05.1987 beauftragte das Niedersächsische Landesamt für Straßenbau die Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen in Braunschweig mit der Durchführung materialtechnischer Untersuchungen an den Spanngliedern des abzubrechenden Brückenbauwerkes über das Coldeborger Sieltief in der Gemarkung Critzum im Landkreis Leer.

Der Überbau mußte wegen seines nicht mehr sanierungsfähigen Bauzustandes erneuert werden.

Aufgrund örtlicher Gegebenheiten konnte der Abbruch nicht durch Sprengungen oder stark zerstörende Verfahren erfolgen. Die Brückenplatte wurde deshalb in einzelne Teile getrennt und diese anschließend herausgehoben. Diese Vorgehensweise bot die Gelegenheit, aus weitgehend unzerstörten Brückenteilen Spanngliedabschnitte zu entnehmen, die durch diese Abbrucharbeiten nicht oder nur in relativ geringem Maße beschädigt worden waren.

Das hohe Bauwerksalter (Baujahr 1955) und die bei der amtsseitigen Brückenprüfung festgestellten unterschiedlichen Erhaltungszustände der Spannglieder ließen unter diesen Voraussetzungen materialtechnische Untersuchungen sehr lohnend erscheinen.

Grundlage für die Untersuchungen bildete ein gemeinsam abgestimmtes Programm, daß sich aus folgenden Bearbeitungsschritten zusammensetzte:

1. Entnahme von Spanngliedabschnitten, die sich im Erhaltungszustand deutlich unterscheiden

- 1.1 Dokumentation des Entnahmezustandes

- 1.2 Zerlegen der entnommenen Spanngliedabschnitte im Labor mit fotografischer Dokumentation

- 1.3 Ermittlung der statischen und dynamischen Kennwerte des Spannstahles in Abhängigkeit vom Korrosionsgrad

## 2. Entnahme von Betonproben aus der Umgebung der Spannglieder

### 2.1 Chloridanalysen des Konstruktionsbetons und des Einpreßmörtels

### 2.2 Überprüfung der Karbonatisierung des den entnommenen Spanngliedabschnitten anhaftenden Betons

## 2. Bauwerksbeschreibung und Spannverfahren

Der Überbau war als fünfstegiger Spannbetonplattenbalken über ein Feld von ca. 10 m Breite und 15 m Länge (Spannweite) ausgeführt (Bild 1/Anlage 1).

Die Längsvorspannung erfolgte durch 10 Spannglieder pro Steg. Es wurde das Spannverfahren Leoba angewendet.

Für dieses Verfahren sind Spannglieder kennzeichnend, bei denen sich die Spannanker auf dem erhärteten Einpreßmörtel abstützen. Die Festanker dieser Spannglieder sind als umschnürte Hakenverankerungen ausgeführt (Bild 2, 3, 4).

Die Vorspannkraft wird über einen, in das Ankerstück eingeschraubten Spannstab aufgebracht. Dieser Spannstab stützt sich mittels Mutter über eine Spannplatte auf den Bauwerksbeton ab. Nach dem Injizieren und Erhärten des Einpreßmörtels werden Spannstab und -platte entfernt und damit die Spannkkräfte in den Einpreßmörtel eingeleitet (Bild 2/Anlage 2).

Im Anschluß daran wird überschüssiger Einpreßmörtel entfernt und der verbleibende Hohlraum mit einer Betonfüllung versehen.

Die Spannglieder bestanden aus 12 vergüteten Spanndrähten St. 1.420/1.570 (St 145/160) - 5,2 - rund, glatt, die das Ankerstück (Spannanker) schlaufenförmig in einer Lage umschlossen (Bild 2/Anlage 2).

Für die Schlaffbewehrung des Betons B 300 war Betonstahl St I - rund, glatt eingebaut worden.

### 3. Probenentnahme

Die Entnahme der für die Untersuchung benötigten Spannstahl- und Betonproben erfolgte am 09. Sept. 1987. Zu diesem Zeitpunkt war die Brückenplatte bereits durch Aufstemmen zwischen Längsstegen in fünf "Streifen" zerlegt, diese einzelnen Abschnitte von den Auflagern abgehoben und am Ufer abgelegt worden. Die jeweils aus einem Längssteg und Resten der Fahrbahnplatte bestehenden Streifen waren dabei in mehrere, durch die Bewehrung zusammengehaltene Teile zerbrochen. An den Bruchstellen lag die Schlaff- und Spannbewehrung bereichsweise frei und war somit einer ersten optischen Beurteilung des Korrosionszustandes zugänglich (s. Bild 3). Ebenfalls zugänglich waren die an den Stirnseiten der Stege befindlichen Spanngliedverankerungen (Bild 4, 5).

Von der mit dem Abbruch der Brücke beauftragten Firma wurden auf Anweisung der Prüfanstalt einige Spannstahl- bzw. Betonproben aus den Bruchstücken herausgearbeitet. Da die Probenahme mit dem für den Abbruch eingesetzten, relativ großen Gerät (Bagger mit Preßluftmeißel, Trennschleifer) durchgeführt werden mußte, war eine zusätzliche Beschädigung des Probenmaterials teilweise nicht zu vermeiden.

Es wurden insgesamt folgende Materialproben entnommen:

- 4 Spanngliedabschnitte incl. Verankerung und anhaftenden Beton- und Verpreßmörtelresten
- 2 Spanngliedabschnitte ohne Verankerung mit anhaftendem Beton; ein Abschnitt mit augenfälligen Korrosionsschäden
- 5 Betonbruchstücke aus Kappe, Fahrbahnoberfläche und Stegunterkante, um daran gegebenenfalls ergänzende Untersuchungen durchführen zu können.

Angaben zu den einzelnen Probestücken finden sich im Abschn. 5. Die Materialproben wurden unmittelbar nach der Entnahme zur Prüfanstalt gebracht und dort weiter untersucht.

#### 4. Untersuchungsziel und Untersuchungsumfang

An Baustoffen werden materialtechnische Untersuchungen durchgeführt, um Erkenntnisse über ihr Langzeitverhalten zu gewinnen.

Hinsichtlich des Erhaltungszustandes von Spannbetonbauwerken ist die Beschaffenheit des Spannstahles von besonderer Bedeutung. Dieser sehr kerbempfindliche hochfeste Werkstoff kann durch Korrosionsschädigung eine beträchtliche Verminderung seiner Gebrauchseigenschaften erfahren, was gegebenenfalls zu einer Gefährdung der Standsicherheit eines Bauwerkes führen kann.

Bei dem hier beschriebenen Vorhaben galt es, die mechanisch-technologischen Kennwerte des verwendeten Spannstahles in Abhängigkeit vom Korrosionszustand zu ermitteln, um somit sein Langzeitverhalten beurteilen zu können.

Zur Beurteilung des Erhaltungszustandes der Spannglieder im Bauwerk wurden die entnommenen Abschnitte schrittweise zerlegt. Das bot Gelegenheit zu gründlicher visueller Überprüfung der Hüllrohre, ließ ihren Einpreßzustand erkennen und ermöglichte die Untersuchung der Alkalität des Einpreßmörtels. Vom anhaftenden Beton und Einpreßmörtel wurden Proben zur Bestimmung des Chloridgehaltes entnommen.

Die Zerlegungsphasen der Spanngliedabschnitte, die Beschaffenheit der Spannstahloberfläche und Hüllrohrstücke wurden fotografisch dokumentiert.

#### 5. Laboruntersuchungen

##### 5.1 Zerlegen der Spanngliedabschnitte

Für die Laboruntersuchungen standen sechs Spanngliedabschnitte zur Verfügung. Vier dieser Proben entstammten dem Verankerungsbereich, während zwei Abschnitte (Probe: Nr. 3 a; Nr. 3 b) aus dem mittleren Bereich weiterer Spannglieder entnommen worden waren. Die Verankerungen an drei Proben (Nr. 1, Nr. 2, Nr. 4) waren als

Schlaufenverankerungen (Spannanker) ausgeführt, das Ende von Probe Nr. 5 dagegen als umschnürte Hakenverankerung (Festanker) (Bild 7 und 8).

Im Ausbauzustand waren die Hüllrohre aller Proben bereichsweise durchkorrodiert, allerdings in deutlich unterschiedlichem Ausmaß (Bild 10; 11; 12; 13). Diese Durchrostungen haben in mehreren Fällen - offenbar verursacht durch Verformungen, die während des Probenausbauens unvermeidbar entstanden sind - zu einem weitflächigen Aufreißen der Hüllrohre geführt.

Während des Zerlegens der Spanngliedabschnitte zeigte sich, daß die Durchrostungen in der Regel von den Hüllrohrinnenflächen ausgingen. Augenfällig waren starke Korrosionserscheinungen im Falzbereich der Hüllrohre und Durchrostungen an den Blechtrompeten verschiedener Verankerungen (Bild 14; 15). Sie hatten ihren Ursprung ebenfalls an den Blechinnenflächen.

Der Einpreßzustand der Hüllrohre war über der Probenlänge nur bereichsweise überprüfbar, weil nicht sicher festgestellt werden konnte, ob und in welchem Umfang während der Ausbauarbeiten durch aufgerissene Stellen der Hüllrohre Einpreßmörtel herausgefallen war. Über der gesamten Länge intakter Hüllrohrbereiche wurde jedoch in der Regel eine vollständige Verpressung mit Mörtel vorgefunden (Bild 16/Anlage 10). Die Überprüfung der Alkalität des Einpreßmörtels mittels Phenolphthalein-Indikatorlösung ließ erkennen, daß der Einpreßmörtel in allen Spanngliedabschnitten die für die Passivierung des Spannstahles erforderliche Basizität besaß. Dieses Ergebnis stimmt mit dem angetroffenen Oberflächenzustand der Drähte in diesen vollständig verpreßten Hüllrohrbereichen überein. Dort waren die Drähte gar nicht oder nur in sehr geringem Maße korrodiert (Bild 16). Drähte mit makroskopisch sehr deutlichen Korrosionsschädigungen, deren Spannweite von einzelnen aber verhältnismäßig tiefen Narben bis zu deutlichen Querschnittsvermindierungen (Bild 17) reichten, wurden vornehmlich in den Bereichen starker Durchrostungen der Hüllrohre oder Blechtrompeten angetroffen (siehe Bild 14). Wahrscheinlich bestanden an diesen Stellen erhebliche Einpreßmängel, so daß kein ausreichender alkalischer Korrosionsschutz vorhanden war. An den Schlaufenverankerungen war der Spannstahl ebenfalls stark korrodiert; in den Schlaufen über

den Ankerstücken waren sogar mehrere Drähte gebrochen (Bild 9 und 14). Dafür könnte eine mangelhafte Ausführung und Qualität der Betonplombe und der Betondeckung im Verankerungsbereich ursächlich gewesen sein (Bild 6).

## 5.2 Chloridanalysen

Aufgrund der lochfraßartigen Morphologie des Korrosionsangriffes an verschiedenen Spanndrähten wurde der Chloridgehalt des anhaftenden Einpreßmörtels und des das Hüllrohr umgebenden Konstruktionsbetons bestimmt, um die Bedingungen für den Korrosionsangriff festzustellen.

Die quantitative Bestimmung des Chloridgehaltes erfolgte durch Zerkleinern und Mahlen des Probengutes und potentiometrische Titration nach der DAfStb-Richtlinie zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton (München 1987). Die Ergebnisse der Chloridanalysen sind in Tabelle 1 der Anlage 11 zusammengestellt. Die Analysenwerte des Betons wurden auf die Zementmasse umgerechnet. Die Umrechnung des Chloridgehaltes auf die Zementmasse des Spannbetons (B 300) wurde unter der Annahme einer mittleren Festbetonrohddichte von  $2.175 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  und einem Zementgehalt von  $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  Beton durchgeführt. Der Chloridgehalt des Einpreßmörtels weist eine Spannweite von (0,11 ... 0,30) Masse-% auf; der Chloridgehalt des Konstruktionsbetons bewegt sich zwischen 0,109 und 0,160 Masse-%.

Der einzelne Analysenwert gibt jeweils den örtlichen Gesamtchloridgehalt des Einpreßmörtels bzw. des Spannbetons an, der sich aus einem freien, löslichen Anteil und einem vom Zementstein chemisch gebundenen Anteil zusammensetzt. Die vom Zementstein gebundene Chloridmenge bleibt korrosionschemisch unwirksam, solange der Einpreßmörtel bzw. Spannbeton nicht karbonatisiert.



Die Bindungskapazität für Chloride ist bei Zementen unterschiedlich und hängt von ihrer chemischen Zusammensetzung ab. Nach älteren Untersuchungen von W. RICHARTZ [1] kann mit guter Sicherheit ein Grenzwert von

0,40 Masse-%, bezogen auf die Zementmasse,

als korrosionschemisch unbedenklich gelten. Nur Chloridgehalte, die diesen chemisch gebundenen Anteil überschreiten, können eine Korrosion des Bewehrungsstahles auslösen, wenn die beiden weiteren Voraussetzungen für den Ablauf der elektrochemischen Korrosionsreaktionen - Vorhandensein eines Elektrolyten (Feuchtigkeit) und Sauerstoffzutritt - erfüllt sind.

Demzufolge können die analysierten Chloridgehalte sowohl des Einpreßmörtels als auch des Konstruktionsbetons als korrosionschemisch unbedenklich angesehen werden. Auffällig sind jedoch die erhöhten Chloridgehalte des Einpreßmörtels. Die Spanndrahtoberflächen an den verschiedenen Entnahmestellen des Einpreßmörtels unterscheiden sich nicht auffällig voneinander, so daß eine Zuordnung aufgrund der unterschiedlichen Chloridgehalte nicht vorgenommen werden konnte.

### 5.3 Mechanisch-technologische Untersuchungen

#### 5.3.1 Klassifizierung des Probenmaterials

Aus den Spanndrähten der entnommenen Spanngliedabschnitte wurden die Proben für Zugversuche und für Dauerschwingversuche herausgeschnitten, um an ihnen den Einfluß der Korrosionsschädigungen überprüfen zu können. Unberücksichtigt blieb Probenmaterial, bei dem bereits bei einer Inaugenscheinnahme eine gravierende makroskopische Querschnittsschwächung erkennbar war (Bild 17). Bei der Auswahl der Proben wurde wegen der sehr unterschiedlichen Korrosionsschädigung an den einzelnen Spanndrähten eine Einteilung nach

---

[1] W. Richartz:

Die Bindung von Chlorid bei der Zementerhärtung  
Zement-Kalk-Gips 22 (1969) 10, 447/456

Korrosionsgraden vorgenommen. Als Kriterium für die Zuordnung zu den Korrosionsgraden wurde die Narbentiefe gewählt. Die Zuordnung erfolgte jeweils nach einer Untersuchung der Drahtoberfläche mit einem Stereomikroskop bei 50facher Vergrößerung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die gemessenen Narbentiefen wegen der Korrosionsprodukte an der Drahtoberfläche und wegen der zerklüfteten Drahtoberfläche (Bezugsfläche) mit einer gewissen Meßunsicherheit behaftet sind. Die relativ grobe Einteilung des Prüfmaterials stellte eine Kompromißlösung wegen des beschränkten Umfanges an Versuchsmaterial und wegen der zur Verfügung stehenden Geldmittel dar.

Korrosionsgrad 0: Drahtoberfläche ohne und mit leichtem Korrosionsangriff bis zu ca. 0,06 mm Tiefe (Bild 18);

Korrosionsgrad I: Drahtoberfläche mit Korrosionsnarben bis zu ca. 0,6 mm Tiefe (Bild 19);

Korrosionsgrad II: Drahtoberfläche mit Korrosionsnarben bis zu max. 1 mm Tiefe (Bild 20).

Eine Überprüfung der Narbentiefen wurde nachträglich nach dem Versagen der Dauerschwingproben an deren Bruchufern durchgeführt (Bild 21 und 22). Hierbei ergaben sich vereinzelte Korrekturen bei der Zuordnung zu den einzelnen Korrosionsgraden. An den Bruchufern der Zugproben ließen sich infolge der Brucheinschnürung die Narbentiefen nicht überprüfen.

### 5.3.2 Zugversuche

Das Verformungsvermögen von Spannstählen wird durch Korrosionsnarben eingeschränkt. Die Beeinträchtigung der Verformungsfähigkeit des Stahles mit zunehmender korrosiver Schädigung drückt sich in einer Abnahme der Gleichmaß- und Bruchdehnungswerte aus.

Es wurden Zugversuche an Spanndrahtabschnitten von ca. 500 mm Länge zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls, der 0,01 %-Dehngrenze, der 0,2 %-Dehngrenze, der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung und der Gleichmaßdehnung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Zugversuche sind Tabelle 2 in Anlage 12 zu entnehmen.

Bezogen auf den Mittelwert der Bruchdehnungen der "Nullproben" (Korrosionsgrad 0)  $\bar{A}_{10} = 8,6 \%$  verringert sich dieser Kennwert im Mittel um 42 % bei Proben des Korrosionsgrades I, während sich bei Proben des Korrosionsgrades II eine Verminderung um 73 % ergibt.

Die Gleichmaßdehnung ändert sich in ähnlicher Weise. Für Proben vom Korrosionsgrad I wird im Mittel eine Abnahme der Dehnung von 46 % vom Mittelwert der Nullproben ( $\bar{A}_g = 4,8 \%$ ) errechnet. An Zugproben des Korrosionsgrades II ist sogar eine Verminderung um 81 % festzustellen.

In den gegenwärtig gültigen Zulassungsbescheiden für den vergüteten Spanndraht St 1.420/1.570 wird als Mindestwert für die Gleichmaßdehnung  $A_g = 2 \%$  und für die Bruchdehnung  $A_{10} = 6 \%$  gefordert. Die Mindestanforderung an die Gleichmaßdehnung wird vom Spanndraht mit dem Korrosionsgrad II nicht mehr erfüllt ( $\bar{A}_g = 0,9 \%$ ). Deutlicher drückt sich die Korrosionsschädigung an der Spanndrahtoberfläche in der Verformungskenngröße Bruchdehnung aus, deren Mindestwert bereits beim Korrosionsgrad I ( $\bar{A}_{10} = 5 \%$ ) nicht mehr gewährleistet ist.

Die Dehngrenzen- und Zugfestigkeitswerte zeigen mit zunehmendem Korrosionsangriff gegenüber den Bezugswerten der Nullproben einen Abfall von bis zu 8 %. Dieser geringe Abfall der Festigkeitskenngrößen liegt noch innerhalb der fertigungsbedingten Streubreite der Materialeigenschaften. Es ist jedoch anzunehmen, daß sich die Verminderung des tragenden Drahtquerschnittes auf die Meßwerte der Festigkeitskenngrößen bereits auswirkte. Ein Vergleich der Meßwerte der Zugversuche mit den in den heutigen Zulassungsbescheiden festgelegten Mindest-Festigkeitskennwerten weist nach, daß in vereinzelten Spanndrahtabschnitten, die dem Korrosionsgrad II zugeordnet wurden, die geforderten Festigkeitskennwerte nicht mehr vorhanden waren.

### 5.3.3 Dauerschwingversuche

Von maßgebendem Einfluß auf das Ermüdungsverhalten von Spannstählen sind Korrosionsnarben. Indem sie bei Beanspruchung an der Drahtoberfläche zur Ausbildung von Spannungsspitzen führen, beeinflussen sie letztlich die Höhe der Dauerschwingfestigkeit. Das Ausmaß der von Korrosionsnarben ausgehenden Kerbwirkung ist allerdings nicht allein von der Narbentiefe abhängig, sondern auch von der Narbenform. Ausgerundete, muldenförmige Narben zeigen eine geringere Kerbwirkung als lochartige Narben gleicher Tiefe. Solche Unterschiede in der Morphologie der Korrosionsnarben verursachten daher auch eine stärkere Streuung der Versuchsergebnisse.

Die den experimentellen Ergebnissen von Dauerschwingversuchen anhaftenden größeren Streuungen, wie sie in einem schematischen Wöhlerdiagramm in Bild 23 der Anlage 18 veranschaulicht werden, erfordern eine statistische Auswertung der Versuchsergebnisse, wobei zur Begrenzung der Streubereiche die Bruchwahrscheinlichkeit herangezogen wird. Bild 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Gesamtwöhlerdiagramms mit Bruchwahrscheinlichkeitskennlinien. Zur experimentellen und analytischen Bestimmung der Schwingbreite der Dauerfestigkeit  $2 \sigma_A$  von Spannstahlsorten ist nur das Übergangsgebiet des Wöhlerdiagrammes von Bedeutung, in dem beispielhaft Versuchsergebnisse auf drei verschiedenen Spannungsniveaus eingezeichnet sind (Bild 23).

Die Durchführung und die rechnerische Auswertung der Ermüdungsversuche erfolgte in Anlehnung an die "Bestimmungen für die Durchführung von Dauerschwingversuchen an Spannstählen - Juli 1977" des Instituts für Bautechnik, Berlin. Die Ermüdungsversuche wurden an 300 mm langen Drahtproben in einem Hochfrequenzpulsator mit einer Prüffrequenz  $f = 115 \text{ Hz}$  im Zugschwellbereich durchgeführt. Bei allen Dauerschwingversuchen betrug die Oberspannung  $\sigma_o = 865 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  (0,55 x Nennzugfestigkeit).

Die Prüfungen erfolgten an Proben des Korrosionsgrades 0 mit den Schwingbreiten  $340 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  und  $360 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Die dem Korrosionsgrad I zugeordneten Proben wurden mit den Schwingbreiten  $2 \sigma_a = 140 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $170 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  und  $290 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  geprüft. Proben mit

dem Korrosionsgrad II standen für Dauerschwingversuche nicht in ausreichender Zahl zur Verfügung.

Nach Angaben des Spannstahlherstellers betrug die Schwingbreite für die Dauerschwingfestigkeit dieser Spanndrahtsorte mit runder, glatter Querschnittsform  $2 \sigma_A (2 \cdot 10^6/10 \%) = 330 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ .

Die rechnerische Auswertung der Dauerschwingversuche unter Anwendung der  $\arcsin / p$ -Transformation für die Bruchwahrscheinlichkeit ergab für die Grenzlastspielzahl  $N_G = 2 \cdot 10^6$  bei einer Bruchwahrscheinlichkeit von  $p = 10 \%$  eine Schwingbreite für die Dauerschwingfestigkeit  $2 \sigma_A (2 \cdot 10^6/10 \%) = 290 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  für die Spanndrähte mit dem Korrosionsgrad 0 und  $2 \sigma_A (2 \cdot 10^6/10 \%) = 150 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  für die stärker korrodierten Spanndrähte mit dem Korrosionsgrad I. Über die Einzelergebnisse der Dauerschwingversuche informieren Tabelle 3 in Anlage 13 und Tabelle 4 in Anlage 14.

Die relativ flachen Narben des Korrosionsgrades 0 (bis 0,06 mm Tiefe) bewirken bereits eine Verminderung der Dauerschwingfestigkeit um ca. 12 % gegenüber dem vom Spannstahlhersteller genannten Wert für jungfräuliches Material. Korrosionsnarben bis 0,6 mm Tiefe haben dagegen eine signifikante Abnahme der Dauerschwingfestigkeit von ca. 55 % zur Folge.

## 6. Zusammenfassung

Aus den Brückenteilen des abgebrochenen Bauwerkes über das Coldeborger Sieltief im Landkreis Leer wurden nach dem Abbruch im Sept. 1987 Spanngliedabschnitte einschließlich des umgebenden Konstruktionsbetons mit dem Ziel entnommen, den Erhaltungszustand der Spannglieder und des eingebauten Spannstahles nach 32jähriger Nutzungsdauer des Bauwerkes festzustellen. Der Überbau war als fünfstegiger Spannbetonplattenbalken ausgeführt. Die Längsverspannung erfolgte in den Stegen mit Spanngliedern des Spannverfahrens Leoba. Das einzelne Spannglied bestand aus 12 vergüteten Spanndrähten St 1.420/1.570 (St 145/160) - 5,2 - rund, glatt.

Nach 32jähriger Nutzungsdauer des Brückenbauwerkes wurden in den zerlegten Spanngliedabschnitten Drähte sehr unterschiedlicher Erhaltungszustände vorgefunden.

An den Drahtabschnitten, die vollständig verpreßten Hüllrohrbereichen entnommen wurden, waren keine oder nur sehr geringe Korrosionserscheinungen feststellbar. In Bereichen großflächiger Hüllrohrdurchrostungen sind dagegen auch am Spannstahl erhebliche Korrosionsschäden entstanden. Sie werden auf mangelhafte Verpreßzustände in Verbindung mit einem ausreichendem Sauerstoff- und Feuchtigkeitsangebot zurückgeführt, denn der Einpreßmörtel war ausreichend alkalisch und die geringen Chloridgehalte hinsichtlich der Korrosion unbedeutend.

Die Eigenschaftsänderungen des Spannstahles infolge Korrosion zeigt der Vergleich der Dehnungswerte und der Schwingbreiten für die Dauerschwingfestigkeit in Abhängigkeit vom Korrosionsgrad der Spanndrähte. Mit zunehmender korrosiver Schädigung war eine deutliche Verminderung des Verformungsvermögens und der Dauerschwingfestigkeit verbunden.

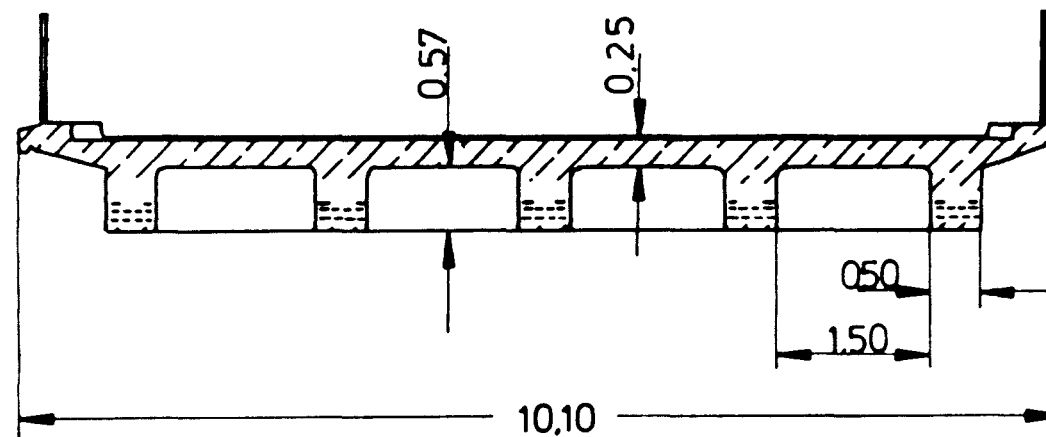
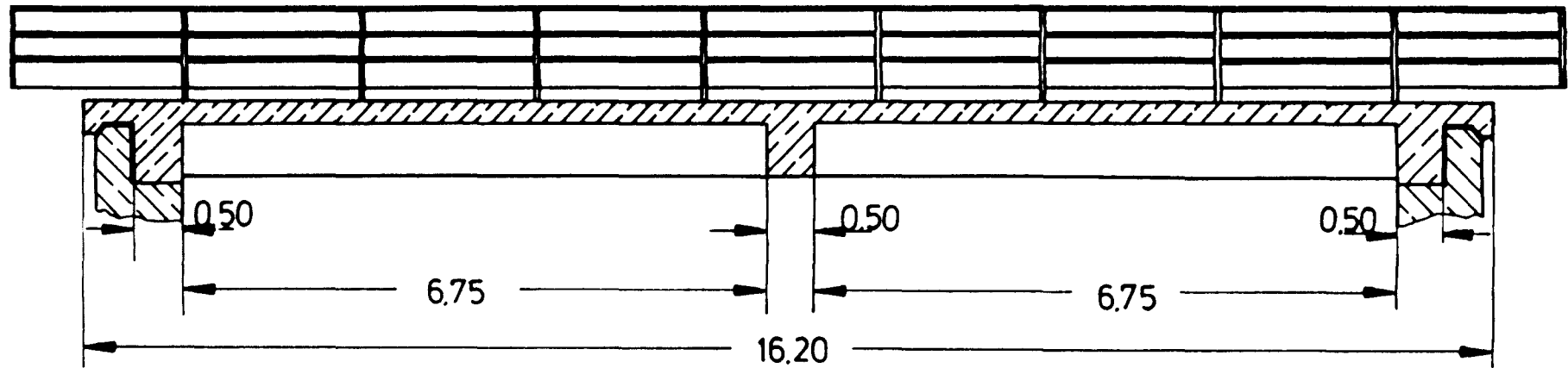
Das Verformungsvermögen läßt sich anhand der Bruch- und Gleichmaßdehnungswerte beurteilen. So verringerte sich der Bruchdehnungswert (Mittelwert) von Spanndrähten mit einer max. Narbentiefe von 0,6 mm gegenüber dem Wert von Drähten mit einer max. Narbentiefe von 0,06 mm um 42 %. Narben bis zu 1 mm Tiefe verursachten eine Abnahme der Bruchdehnung um 73 %. Die Gleichmaßdehnung wurde durch die Korrosionsschädigungen in ähnlicher Weise beeinflusst. Eine Narbentiefe bis zu 0,6 mm hatte einen Abfall der Gleichmaßdehnung um 46 % im Vergleich zu Spanndrähten mit 0,06 mm tiefen Korrosionsnarben zur Folge. Narben bis zu 1 mm Tiefe verursachten sogar eine Abnahme der Gleichmaßdehnung um 81 % (Anlage 12).

Bekanntlich reagieren die Festigkeitskenngrößen - 0,01 %-Dehngrenze, 0,2 %-Dehngrenze und Zugfestigkeit - weniger empfindlich auf derartige Korrosionsschädigungen. Im vorliegenden Fall machte sich an Spanndrähten mit einer Narbentiefe von bis zu 1 mm eine Verringerung der Festigkeitswerte um rund 8 % bemerkbar.

Ein Vergleich der an den entnommenen Spanndrähten bestimmten Verformungs- und Festigkeitskennwerten mit den entsprechenden Werten des gültigen Zulassungsbescheides einer gleichen Spanndrahtsorte mit runder, glatter Querschnittsform zeigte auf, daß die untersuchten Spanndrähte mit einer Narbentiefe von 0,6 mm die geforderten Mindestwerte des Zulassungsbescheides für eine statische Beanspruchung nicht mehr aufwiesen.

Eine max. Narbentiefe von 0,06 mm verringerte die Schwingbreite für die Dauerschwingfestigkeit um rund 12 % im Vergleich zur Schwingbreite des jungfräulichen Materials. Demgegenüber führten Narben an den Spanndrahtoberflächen mit einer max. Tiefe von 0,6 mm zu einem signifikanten Abfall der Schwingbreite um rund 55 %.

# Längsschnitt

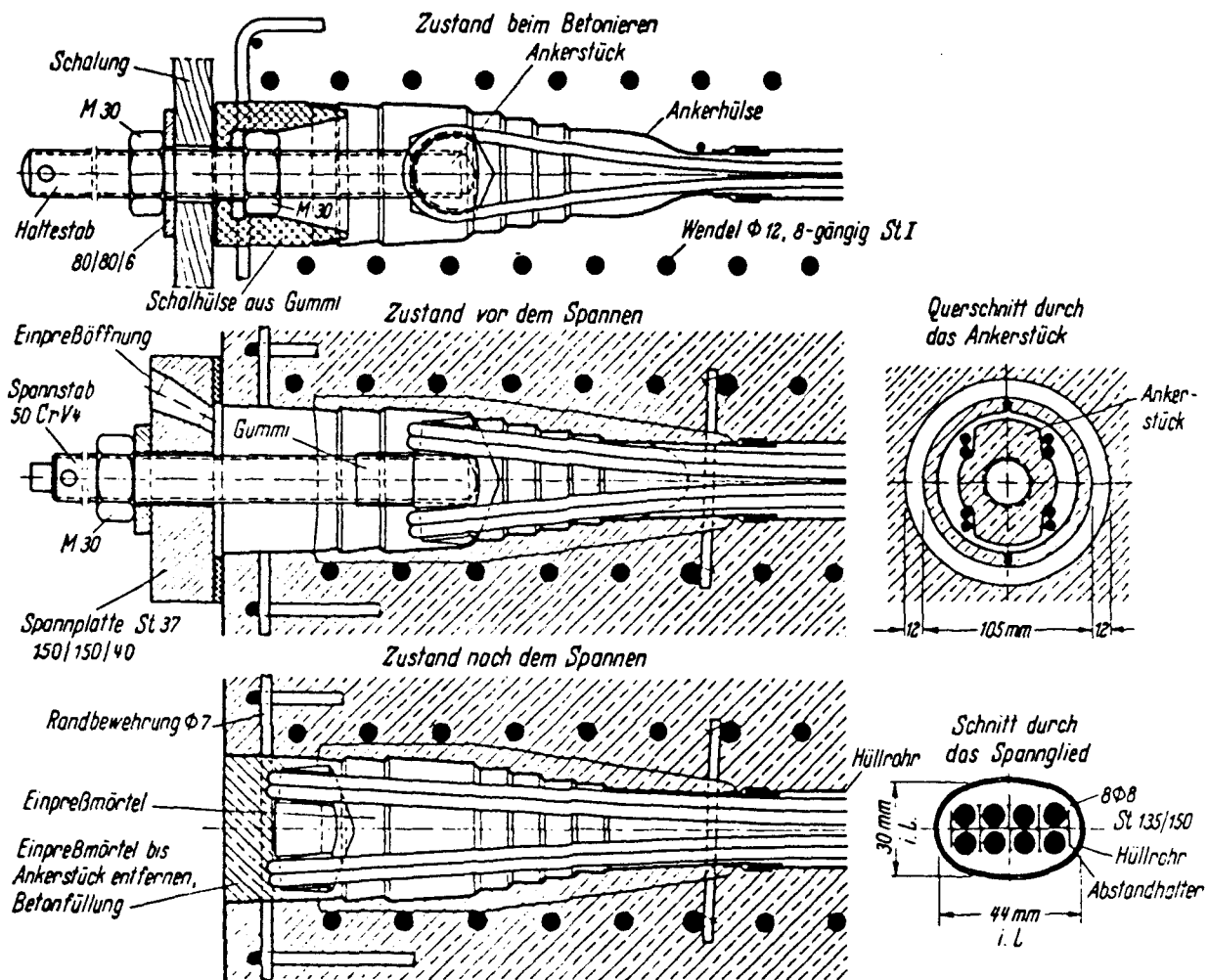


Alle Maße in m

Bild 1 : Querschnitt und Lage der Spannglieder  
in den Stegen



## Anlage 2



**Bild 2:** Spannanker der Leoba-Spannglieder mit Abstützung des Ankers auf erhärtetem Einpreßmörtel. 8 Drähte  $\Phi 8$  mm. Die untersuchten Spannglieder enthielten 12 Drähte,  $\Phi 5,2$  mm. Die Hüllrohre hatten abweichend von dieser Darstellung einen rechteckigen Querschnitt.

### Anlage 3



Bild 3: Freiliegende Schlaff- und Spannbewehrung an der Bruchstelle eines am Sielufer abgelegten "streifenförmigen" Bruchstückes.



Bild 4: Abbruchstück mit Hakenverankerungen von Spanngliedern.



#### Anlage 4



Bild 5: Bereichsweise freigelegte Schlaufenverankerungen an der Stirnseite eines Stegsegmentes.

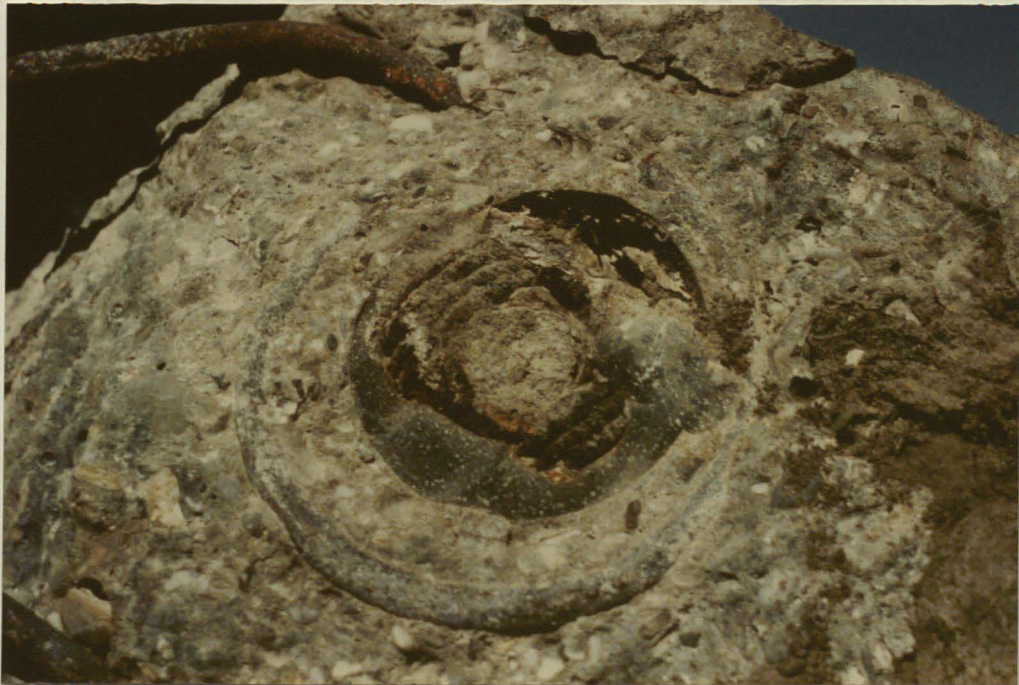


Bild 6: Korrosionsschäden an den Drähten einer Schlaufenverankerung. Die Korrosion ist offenbar auf eine mangelhafte Ausführung der Betonplombe zurückzuführen.



## Anlage 5



Bild 7: Schlaufenverankerung (Spannanker) der Probe 4 mit Ankerstück, aufgeschnittener Blechtrompete und sechs freigelegten Spannstahldrähten. Im bedingungsgemäß verpreßten Trompetenbereich zeigt der Spannstahl nur geringe Korrosionserscheinungen. Im linken Teil des Bildes ist infolge der mangelhaften Verpressung eine verstärkte Korrosion der Drähte zu erkennen.



Bild 8 a: Hakenverankerung der Probe 5 im Ausbauszustand.





Bild 8 b: Hakenverankerung der Probe 5.  
Im Bereich der Verankerung ist der Beton nicht karbonatisiert. Die ausreichende Alkalität des Betons wird durch die Rotfärbung der Phenolphthalein-Lösung nachgewiesen.



Bild 8 c: Hakenverankerung (Festanker) an der Probe 5  
nach Entfernung des Betons.



## Anlage 7



Bild 9: Ankerstück mit sehr stark korrodierten und gebrochenen Drahtschlaufen. Die Gewindebohrung des Ankerstückes zum Einschrauben des Spannstabes ist mit Mörtel gefüllt.

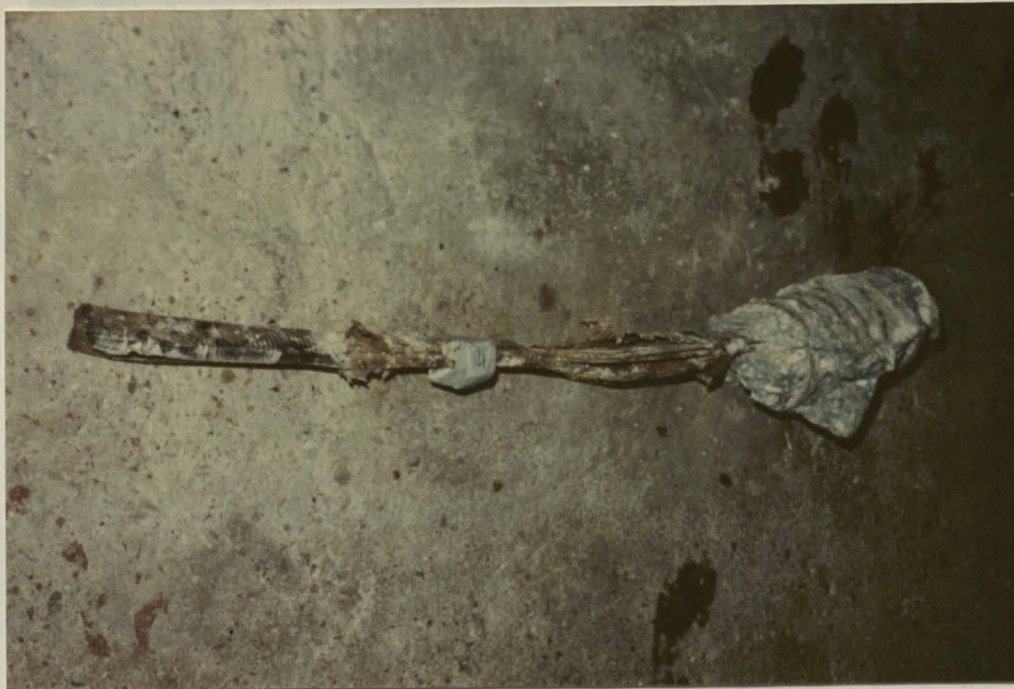


Bild 10: Probe 4 im Ausbauzustand. Das Hüllrohr ist bereichsweise aufgerissen.



## Anlage 8



Bild 11: Probe 1 im Ausbauzustand.  
Hüllrohrdurchrostungen sind weitflächig aufgerissen.



Bild 12: Probe 3 a und 3 b im Ausbauzustand.



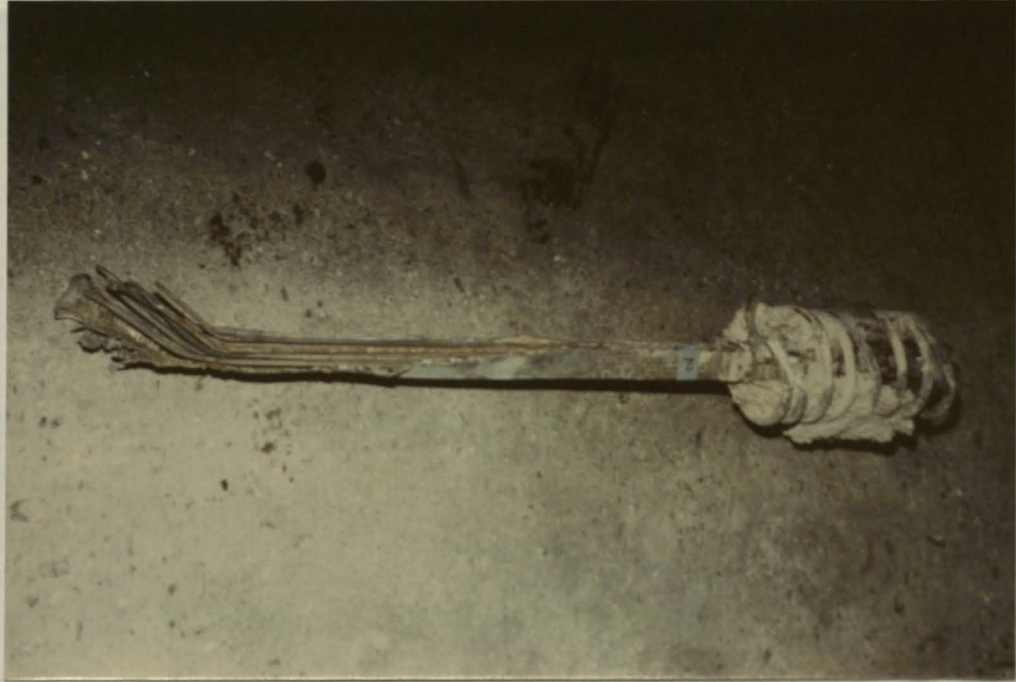


Bild 13: Probe 2 im Ausbauszustand. Das Hüllrohr weist im Falzbereich weitreichende Durchrostungen auf. Es sind einige sehr stark korrodierte Spannstahldrähte erkennbar.



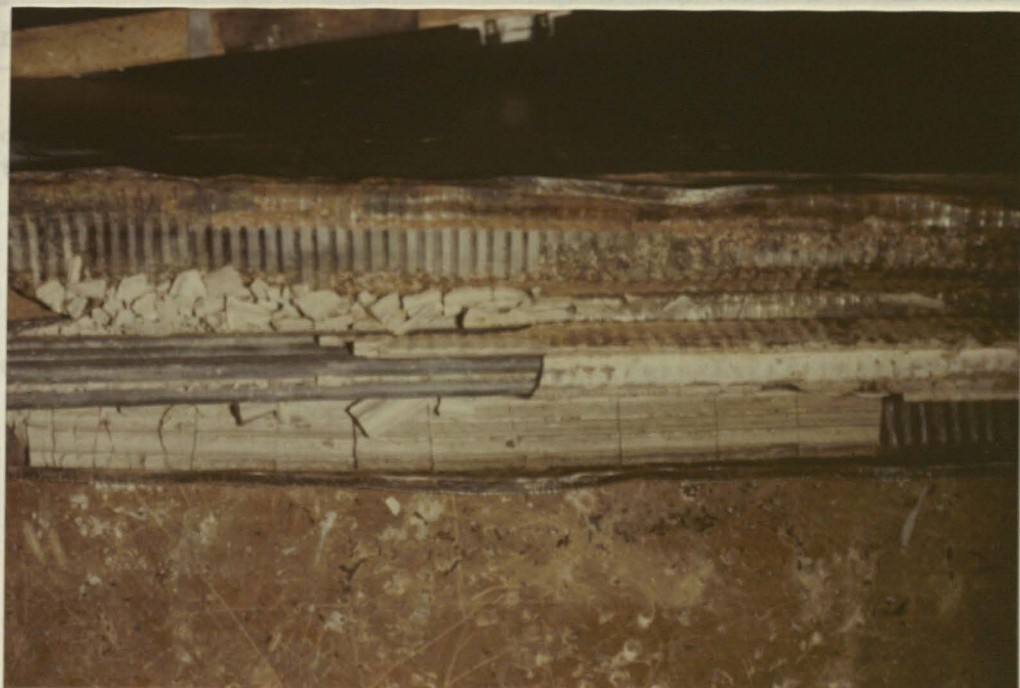
Bild 14: Verankerung der Probe 2. Infolge des mangelhaften Einpreßzustandes sind großflächige Durchrostungen der Trompete und tiefe Korrosionsnarben an den Drähten entstanden. Der anhaftende Beton an der umgebenden Wendel war alkalisch (wie die Verfärbung ausweist).



## Anlage 10



**Bild 15:** Verankerung der Probe 1. Infolge des mangelhaften Einpreßzustandes in der Blechtrompete des Spannankers sind deutliche Korrosionsschädigungen sowohl an den Spanndrähten als auch an dem umgebenden Hüllrohr zu registrieren.



**Bild 16:** Probe 3 a mit geöffnetem Hüllrohr und teilweise freigelegten Drähten. Durch die vollständige Umhüllung mit Einpreßmörtel war ein wirksamer Korrosionsschutz für den Spannstahl gewährleistet.

**Anlage 11**

Probe	Material	Chloridgehalt in Masse-% *)	Chloridgehalt in Masse-% (bezogen auf Zementmasse)
1.1	Spannbeton	0,020	0,145
1.2	Einpreßmörtel	0,13	-
2.1	Spannbeton	0,019	0,138
2.3	Einpreßmörtel	0,19	-
3.1	Spannbeton	0,017	0,123
3.2 a	Einpreßmörtel	0,30	-
4.2	Spannbeton	0,022	0,160
4.3	Einpreßmörtel	0,17	-
5.1	Spannbeton	0,015	0,109
5.2	Einpreßmörtel	0,11	-

\*) Chloridgehalt bezogen auf die Betonmasse bzw. Einpreßmörtelmasse

Tabelle 1:  
Ergebnisse der Chloridanalyse

## Anlage 12

Probe	Korrosionsgrad *)	0,01 %-Dehn- grenze, $R_{p0,01}$ in N · mm <sup>-2</sup>	0,2 %-Dehn- grenze, $R_{p0,2}$ in N · mm <sup>-2</sup>	Zugfestigkeit $R_m$ in N · mm <sup>-2</sup>	Gleichmaß- dehnung $A_g$ in %	Bruchdehnung $A_{10}$ in %	Elastizitäts- modul E in kN · mm <sup>-2</sup>
Nach Zulassungsbescheid		1.220	1.420	1.570	2	6	205
2.2.2	0	1.362	1.466	1.585	4,8	8,8	199,8
2.5.3	0	1.378	1.461	1.592	4,8	8,4	199,1
2.3.1	I	1.376	1.438	1.561	2,6	5,4	201,5
3.2.2 a	I	1.274	1.458	1.595	3,0	5,0	199,4
4.1.2	I	1.337	1.465	1.578	2,2	4,6	198,7
2.9.1	II	1.308	1.390	1.429	0,4	2,4	198,1
3.5.3 a	II	1.270	1.431	1.549	1,8	2,8	192,9
3.10.3 b	II	1.187	1.367	1.414	0,4	1,8	194,2

Tabelle 2: Ergebnisse der Zugversuche

\*) Korrosionsgrad 0: Drahtoberfläche ohne oder mit leichtem Korrosionsangriff bis zu 0,06 mm Tiefe  
 Korrosionsgrad I: Drahtoberfläche mit Korrosionsnarben bis zu ca. 0,6 mm Tiefe  
 Korrosionsgrad II: Drahtoberfläche mit Korrosionsnarben bis zu max. 1 mm Tiefe

# Anlage 13

Probe	Schwingbreite $2 \sigma_A$ in $N \cdot mm^{-2}$	Lastspielzahl $N \cdot 10^{-6}$	Narbentiefe im Bruchquerschnitt in mm
4.6.2	360	0,581	0,06
3.12.2 b	360	2,00	-
3.5.1 b	360	2,00	-
3.2.1 a	360	0,424	0,05
4.4.1	360	2,00	-
3.4.1 a	360	2,00	-
3.10.4 a	360	0,530	0,06
3.8.2 a	360	0,649	0,00
2.6.4	360	2,00	-
4.4.2	360	0,329	0,05
3.12.4 a	340	2,00	-
2.5.1	340	2,00	-
3.11.2 a	340	0,178	0,01
3.12.1 a	340	2,00	-
3.9.1 a	340	1,188	0,05
3.2.2 b	340	2,00	-
3.9.4 a	340	0,359	0,06
4.3.3	340	2,00	-

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Proben des Korrosionsgrades 0. Bei Erreichen der Grenzlasterzahl  $N_G = 2 \cdot 10^6$  wurden die Versuche abgebrochen.

# Anlage 14

Probe	Schwingbreite $2 \sigma_A$ in $N \cdot mm^{-2}$	Lastspielzahl $N \cdot 10^{-6}$	Narbentiefe im Bruchquerschnitt in mm
3.6.2 b	290	2,00	-
3.9.2 a	290	2,00	-
3.5.3 b	290	0,233	0,24
3.1.1 a	290	1,764	0,24
3.8.1 a	290	2,00	-
3.1.2 a	290	2,00	-
4.2.2 a	290	1,145	0,00
3.5.1 a	290	0,287	0,24
4.3.2	170	1,027	0,17
3.1.1 a	170	2,00	-
4.4.3	170	0,494	0,24
4.5.3	170	0,720	0,39
2.5.4	170	2,00	-
3.12.4 b	170	0,823	0,17
4.2.1	170	1,362	0,17
3.10.3 a	170	2,00	-
2.6.3	140	2,00	-
2.8.1	140	2,00	-
2.5.2	140	2,00	-
3.12.1 b	140	1,297	0,58
3.10.2 a	140	2,00	-
4.3.4	140	2,00	-
4.1.3	140	2,00	-
3.6.2 a	140	2,00	-

**Tabelle 4:** Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Proben des Korrosionsgrades I. Bei Erreichen der Grenzlasterzahl  $N_G = 2 \cdot 10^6$  wurden die Versuche abgebrochen.



## Anlage 15

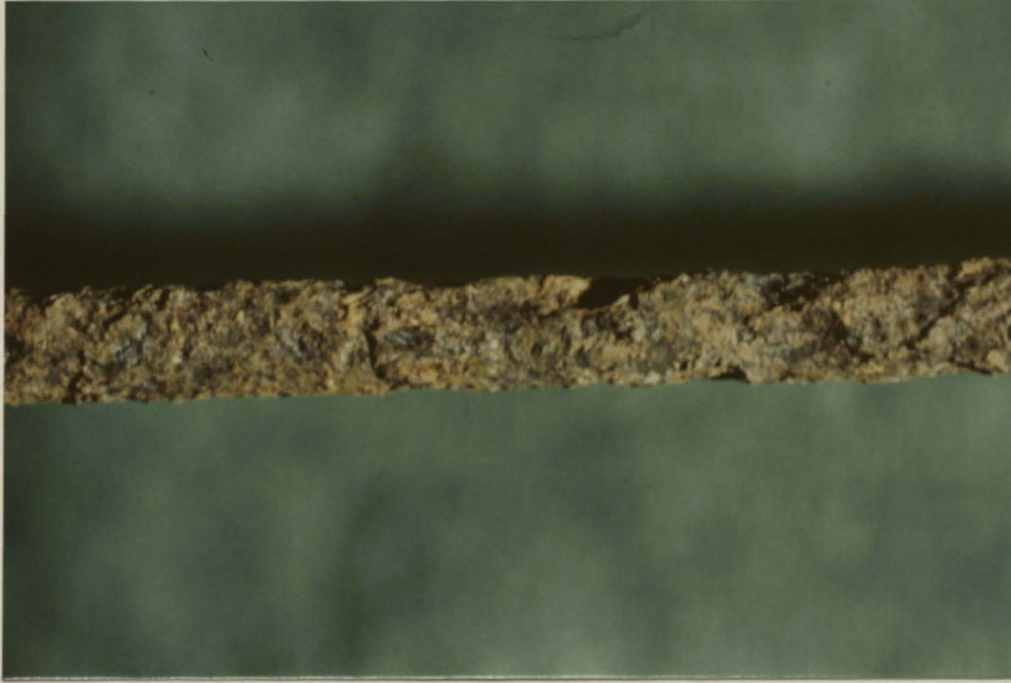


Bild 17: Durch Korrosion entstandene Querschnittsverminderung eines Spannstahldrahtes

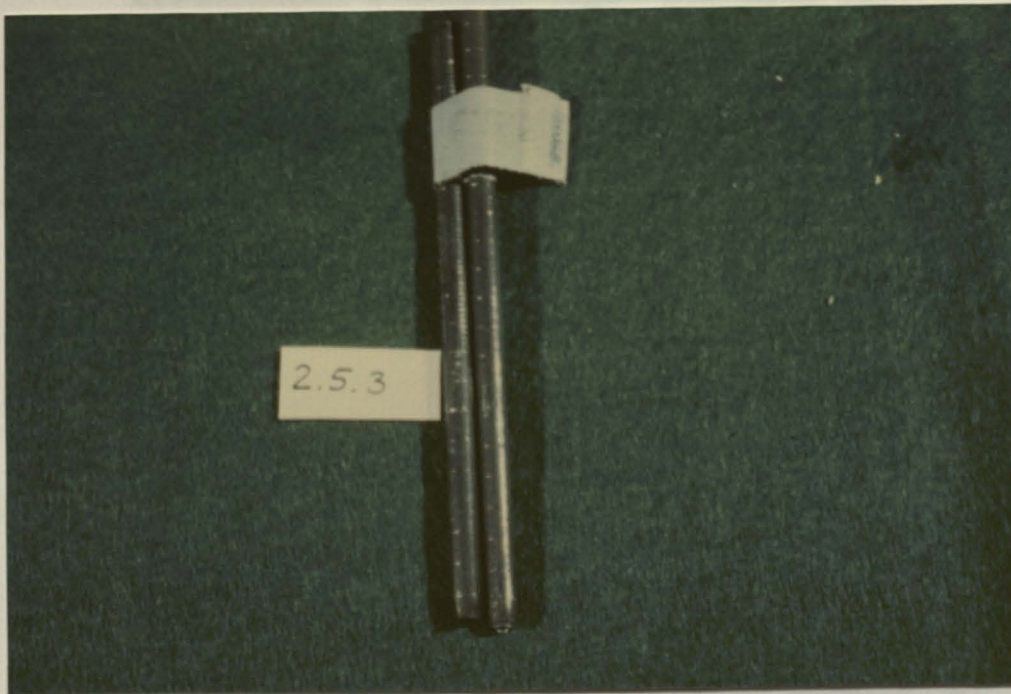


Bild 18: Zugprobe mit dem Korrosionsgrad 0. Die ausgeprägte Brucheinschnürung verdeutlicht ebenso wie die Bruchdehnung das erheblich größere Verformungsvermögen dieser Probe im Vergleich mit Proben, die den Korrosionsgrad II aufweisen (vgl. mit Bild 20).



## Anlage 16

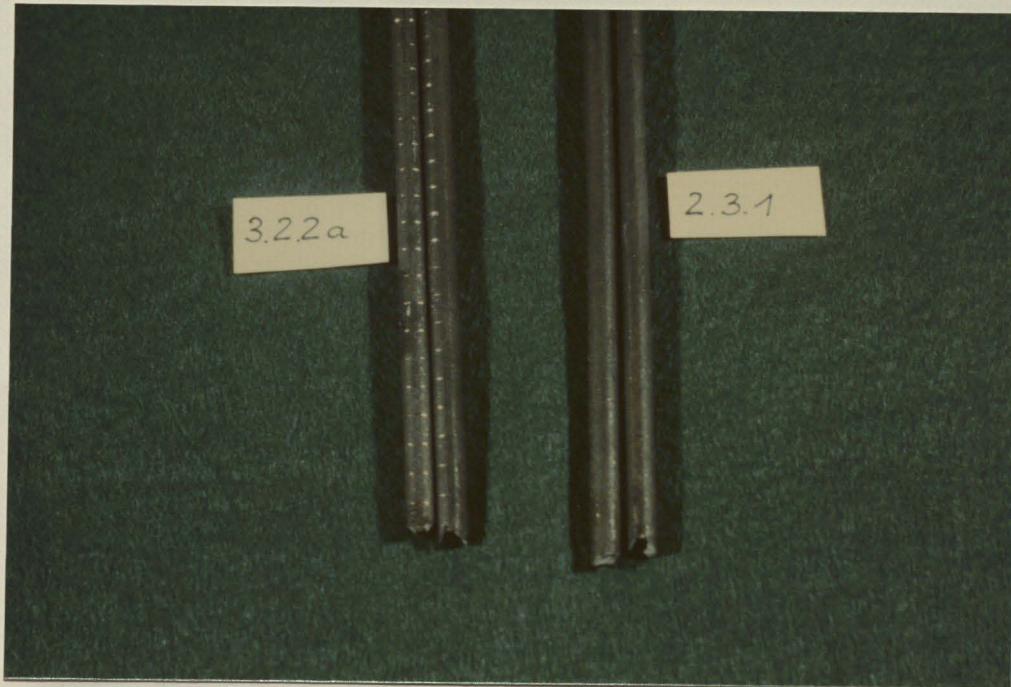


Bild 19: Zugproben mit dem Korrosionsgrad I.  
Der Einfluß dieser Korrosionsschädigung auf das Verformungsverhalten des Spanndrahtes wird bereits makroskopisch sichtbar (vgl. mit Bild 18).



Bild 20: Zugproben mit dem Korrosionsgrad II.  
Das Verformungsvermögen dieser Proben ist infolge korrosiver Schädigung erheblich vermindert.



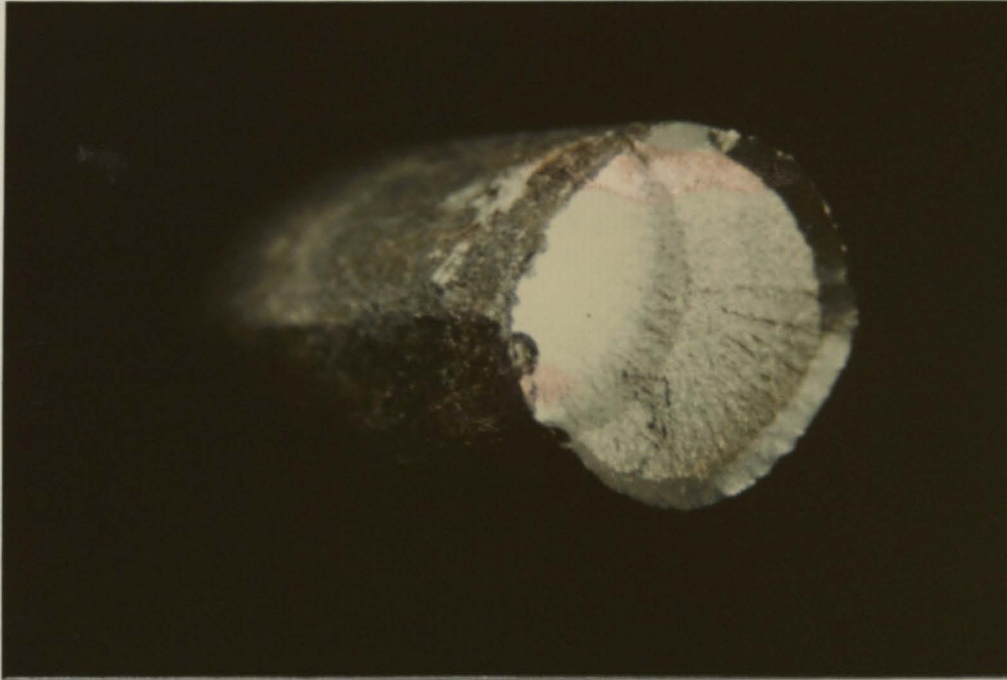


Bild 21: Schwingbruchfläche der Probe 4.5.3 mit Korrosionsnarben an der Bruchausgangsstelle und Schubspannungslippen am Restbruchrand. Die maximale Narbentiefe beträgt 0,39 mm (Korrosionsgrad I).

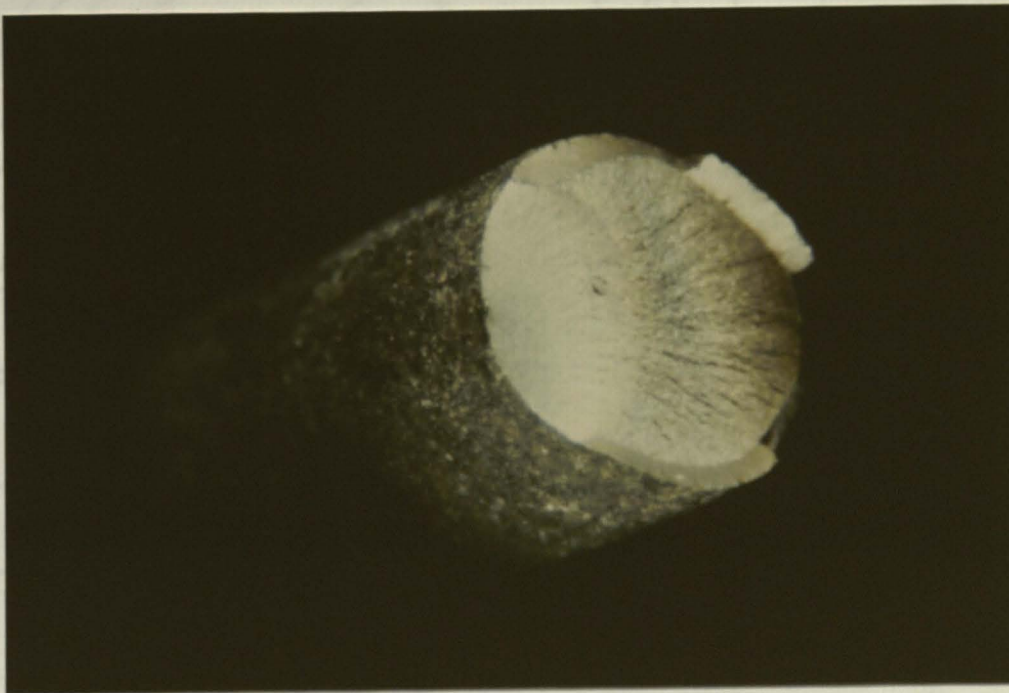


Bild 22: Schwingbruchfläche der Probe 3.8.2 a. An der Bruchausgangsstelle sind keine Korrosionsnarben lichtmikroskopisch feststellbar (Korrosionsgrad 0). Der Rand des Bruchufers weist Schubspannungslippen im Restbruchbereich auf.